MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
Budapest, Nádor u.7.
1361 Pf.6.
DÍJELŐLEGES

BUDAPEST
1992 - 9 23

Dr. Kansay Tibor úrnak
a műszaki tud. kandidátusa

1992. Október 26. du 14 ó

Dr Talabér, MTA

1034 Budapest

Bécsi út 126.
SZIKKTI

Fő u.

219 sz.

# MEGHÍVÓ

A Tudományos Minősítő Bizottság meghívja Önt

Talabér József

Az aluminátcement-betonok tartóssága

című doktori munkásság tézisszerű összefoglalójának

1992 október 26-án (hétfő) délután 14 órakor

az MTESZ Székház 219. sz. termében (Bp., I., Fő u. 60.)

tartandó nyilvános vitájára.

Az értekezés opponensei:

Dr.Palotás László, az MTA rendes tagja

Dr.Berecz Endre, a kémiai tudomány doktora **Dr. Bereczky Endre**

Dr.Déri Márta, a műszaki tudomány doktora.

Az értekezés megtekinthető az MTA Könyvtárában (Bp., V., Arany J.u.1.)

A nyilvános vitában minden jelenlévő részt vehet és előzetesen írásban is észrevételt tehet.

Tudományos Minősítő Bizottság

Aluminátcementet nem szabad használni olyan adalékanyaghoz, amelynek alkáli tartalma van!

# AZ ALUMINÁTCEMENT-BETONOK TARTÓSSÁGA

doktori munkásság tézisszerű összefoglalója

TALABÉR JÓZSEF
a kémiai tudomány kandidátusa

1991.

## I. A KUTATÁS TÁRGYA

Több, mint 80 éves az aluminátcement. A kötés és szilárdulás mechanizmusa azóta foglalkoztatja a szakembereket és a kutatókat. Csábító volt - legalábbis kezdetben - a portlandcement kötési és szilárdulási viszonyaihoz való hasonlítás és egy olyan analógia felállítása, amely közös nevezőt próbál teremteni a szilikátcementek és az aluminátcementek között.

Rövid idő alatt nyilvánvalóvá vált azonban, hogy az analógia nem állítható fel, a viszonyok egészen mások, a hidratáció és a szilárdulás jellege az aluminátcementeknél eltt a portlandcementeknél megismert viszonyoktól és a szilárdság alakulásában, időbeni kifejlődése során olyan jelenségeket észleltek, amelyeket nem tudtak beilleszteni a portlandcementnél megismert képbe. A portlandcementnél a szilárdság az idő függvényében - ha csökkenő mértékben is - hosszú időn át növekszik. Az aluminátcementeknél pedig sok esetben veszélyes szilárdságcsökkenéssel találkoztak, amelynek okát nem tudták megmagyarázni.

A $CaO-Al_2O_3$ rendszer részletes felderítése után logikusan jutott el a francia J.Bied 1908-ban oda, hogy a Lafarge cég bejegyezhesse a "Ciment fondu" néven megismert új kötőanyagot, amelyet mészkő és bauxit megfelelő arányban történő összeolvasztásával állítottak elő.

J.Bied kutatásai egyébként olyan cement előállítására irányultak, amelyek szulfáttartalmú talajoknak jobban ellenállnak, mint a portlandcement. A századforduló körül ugyanis már ismert volt a szokványos portlandcementek kis ellenállóképessége a szulfátkorrózióval szemben. Mivel Franciaország egyes vidékein a portlandcementből készült vasúti műtárgyak, épületek alapjai, alagutak a gipsz, vagy anhidrittartal-

mú talajban hamar tönkrementek és J.Bied feltételezte, hogy az alapvetően más összetételű aluminátcementek jobban ellnállnak a szulfátkorróziónak, mint a portlandcement.
Így keletkezett az a kötőanyag, amely viselkedésében, hidraulikus tulajdonságaiban, kötési és szilárdulási viszonyaiban a portlandcementhez hasonló. Főbb tulajdonságaiban, nevezetesen petrográfiai összetételében, a kötés és szilárdulás mechanizmusában, a szilárdságváltozás alakulásában és a korróziós hatásokkal szembeni ellenállóképességével a portlandcementtől erősen eltérő új kötőanyag ez, amelyet gyüjtőnéven aluminátcementnek (bauxitcement, timföldcement) nevezünk.

A Lafarge cég "ciment fondu" néven megismert cementjét először 1913-ban gyártották, de katonai okok miatt csak 1918 után hozták forgalomba.

Az aluminátcementek kiváló tulajdonságai, a nagy kezdőszilárdság, a szulfátkorrózióval szembeni ellenállóképesség hamar ismertté és becsültté lettek. Franciaország után Angliában, az Egyesült Államokban, Német-Olasz és Spanyolországban, Indiában, Magyarországon, Csehszlovákiában, Jugoszláviában, a Szovjetunióban fejlődött ki az aluminátcementek gyártása.

Igen értékes melléktermékként előállították az aluminátcementet kalcium-aluminát-salak formájában több olyan országban, ahol nagy $Al_2O_3$ tartalmú eleggyel jártak a nagyolvasztókat, akár a nyersanyag miatt, akár a termelt nyersvas jobb tulajdonságai miatt.

Magyarország gazdag bauxit-vagyona hasznosításának jóformán első eredménye volt a "Citadur" védjegyű bauxitcement gyártása. 1928-ban épült fel Felsőgallán (a mai Tatabányán) a bauxitcement gyár, amely a Lafarge cég olvasztásos eljárása helyett kismérvű zsugorítással oldotta meg a bauxitcementklinker előállítását.

A bauxitcement-gyártás virágkora a cement kiváló tulajdonságai ellenére is meglepően rövidnek bizonyult. Pedig az aluminátcementek egyik legértékesebb tulajdonsága a nagy kezdőszilárdság. Ez az első pillanattól kezdve arra adott ösztönzést, hogy minél szélesebb körre terjesszék ki felhasználását. Ez a törekvés vezetett végső soron azon összeütközéshez is, amelynek évtizedeken át tanúi, sok esetben szenvedő alanyai voltunk.

Hosszú volt az út, amíg eljutottunk odáig, hogy választ tudunk adni, hogyan megy végbe az aluminátcementek hidratációja, hogyan alakul a szilárdság, mikor és miért lép fel a veszélyes szilárdságcsökkenés. Az esetek nagy részében egyértelműen tudjuk megfogalmazni a szilárdságcsökkenés fizikai és kémiai okait, azokat a tényezőket, amelyek az aluminátcementek, illetve a belőle készült betonok szerkezetére hatnak. Sőt, megkíséreltük az aluminátcementek végső állapotát és annak eléréséig a viselkedését is "megjósolni". Kutatásaink eredményeképpen a bauxitbetonok szilárdságváltozása és elsősorban a rohamos szilárdságcsökkenés értelmezése terén értünk el nemzetközileg is nyilvántartott eredményeket. Emellett azonban azt tartjuk a leglényegesebbnek, hogy sikerült jelentősen hozzájárulni a bekövetkező és várható épületkárok reálisabb felméréséhez és prognosztizálásához.

A legfontosabb kérdésnek azt tekintjük, hogy ma már nem félünk az aluminátcementektől és nem tekintjük rejtélyesnek az aluminátcementekből készült betonok meghibásodását és tönkremenetelét. Sőt, arra is van lehetőség, hogy az előírt intézkedések szigorú betartása mellett a teljes tönkrementelt el tudjuk kerülni, vagy a károkat nagymértékben csökkenteni tudjuk.

A téma feldolgozását Talabér József kezdte. A Tatabányai Cementgyár fiatal mérnökeként kezdett az aluminátcementekkel foglalkozni.

Kandidátusi értekezését is ebből a témakörből készítette el. Másirányú elfoglaltsága miatt Révay Miklós folytatta ezt a munkát, melyet ugyancsak kandidátusi értekezéssel zárt. A befejezésben mint a BME, illetve a SZIKKTI dolgozói vettek részt, felhasználva a különböző tudományos intézmények korszerű műszereit és berendezéseit.

Külön-külön önálló eredményeik kiegészítik egymást, így a két munka tulajdonképpen egy egészet alkot.

Ezért választottuk az összefoglalók közös címéül: az "ALUMINÁTCEMENT-BETONOK TARTÓSSÁGA" gyűjtőnevet.

Az évek hosszú során megszerzett ismereteinket több közleményben is ismertettük. Ezeket kívánjuk ez alkalommal összefoglalni.

A lelkiismeretünknek azonban adósai maradunk ezzel kapcsolatban, mert nem sorolhattuk fel azt a számtalan kutatót, kutatást és tudást a világ minden részéből, amelynek eredményeképpen ezzel a témával a Magyar Tudományos Akadémia elé mertünk állni.

Mégis kötelességünknek érezzük, hogy ezen a helyen is megemlékezzünk a nagy elődökről, Varga József és Mihailich Győző akadémikusokról, akik a bauxitbeton szilárdságának csökkenésére már a 30-as években felhívták a figyelmet.

A francia Henri Lafuma professzorról, akinek munkássága, magyarországi látogatása is arra ösztönzött bennünket, hogy kivegyük részünket ebből a munkából.

Butt, Kravcsenko és Kuznecova szovjet professzorokról, akik ugyan más úton kíséreltek meg választ adni a kérdésekre, szakmai konzultációink eredményeképpen azonban mégis sikerült konszenzushoz közeli álláspontra jutni.

Bölcskey Elemér és Palotás László akadémikusokról, akiknek volt bátorságuk szembenézni a probléma következményeivel.

Szalay Kálmán professzorról, aki le tudta vonni ennek a kérdésnek a szerkezeti és méretezési konzekvenciáit.

Szántó Ferenc és Dékány Imre egyetemi tanárokról, akik velünk szorosan együttműködve a kérdés kolloidkémiai közelítése terén végeztek számunkra rendkívül értékes munkát.

Rátonyi Kristófról az ÉVM főmérnökéről, aki talán a legközelebbről érezte a téma veszélyeit és feladatait.

Dolezsai Károlyról, a SZIKKTI ny.osztályvezetőjéről, akivel a témakörben mindkettőnknek több közös publikációja jelent meg, a SZIKKTI Cement és Szilikátkémiai Osztályának dolgozóiról, az ÉTI, ÉMI munkatársairól, az Építőanyagok Tanszék oktatóiról, akiktől sok segítséget kaptunk.

És végül a Tatabányai Cementgyár volt laboránsairól, Vékony Károlyról, Nagy Istvánról és Várhidi Ferencről, akiktől a hosszú időre kiterjesztett vizsgálatok sok értékes anyagát megkaptuk.

## II. KUTATÁSI MÓDSZEREK

Mivel munkánkban több évtized kutatási eredményeit foglaltuk össze, alkalmazott kutatási módszereink és a felhasznált kisérleti eszközök egyaránt tükrözik az elmult évtizedek metodikai és vizsgálati eszközbeli változásait.

Kutatómunkánk egyik legszilárdabb alapját az a több évtizeden keresztül, különböző aluminátcement félesé-gekkel végzett szilárdságvizsgálat-sorozat képezte, amelyet az egykori felsőgallai cementgyár (Tatabánya) laboratóriumában végeztek.

A munka következő fázisában a különböző kalcium-aluminátokon és kalcium-aluminát-hidrátokon végbemenő kémiai, morfológiai, fizikai-mechanikai változásokat, elsősorban a SZIKKTI Cement Kutató Osztályán előállított szintetikus vegyületeken vizsgáltuk. Az elvégzett hidrotermális kezelésekhez korszerű klimaberendezést alkalmaztunk. A vizsgálatokhoz a hagyományos eljárásokon kívül (sűrűség, testsűrűség, szilárdságvizsgálat, kémiai analízis) alkalmaztuk a SZIKKTI Szilikátkémiai Osztályának műszereit. Munkánk jellegéből adódóan elsősorban röntgendiffraktometriai, derivatográfiai, elektronmikroszkópiai és higanypenetrációs porozimetriai vizsgálatokat végeztünk.

A kutatás különböző fázisaiban igénybe vettük a Budapesti Műszaki Egyetem Építőanyagok Tanszékének, a Veszprémi Egyetem Szilikátkémiai Technológiai Tanszékének és a Szegedi József Attila Tudományegyetem Kolloidkémiai Tanszékének szakmai segítségét és műszereit. Különösen értékesek voltak számunkra a gázadszorpciós fajlagos felület vizsgálatok, melyeket kezdetben a Veszprémi Egyetemen, később a József Attila Tudományegyetemen végeztünk.

Munkánk során szoros szakmai kapcsolatot tartottunk mindazon hazai intézményekkel, amelyek a bauxitcement-betonok vizsgálatában részt vettek (ÉTI Betonosztály, az ÉMI különböző vizsgálati állomásai, az FTI Vegyészeti Osztálya, stb.)

Ezen intézmények vizsgálati eredményeit következtetéseink levonásakor felhasználtuk, mint ahogy az itt dolgozó szakemberek is hasznosították a mi eredményeinket.

Talabér József

Révay Miklós

## III. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

Mérnöki pályám kezdete óta foglalkozom az aluminátcementekkel. Azok nyersanyagaival, felépítésük szilikátkémiai alapjaival, ásványi összetételével, a gyártási technológiákkal, a legkedvezőbb égetési feltételek kialakításával, a különböző aluminátcement típusokkal.

Munkásságom egyik súlypontja a $CaO-Al_2O_3-H_2O$ és a $CaO-Fe_2O_3-H_2O$ rendszerek vizsgálatára, a keletkezett kalcium-aluminát és ferrit vegyületekre és ezek hidratációjára esett. A nemzetközi téren is elismert eredményekkel azonban nem foglalkozom, egyrészt azért, mert ezen kérdések jelentős részét már kandidátusi értekezésemben is érintettem, másrészt ezeket ma már nem tekintem tézisértékűnek. [1a, 1b, 1c, 1d]

Az egymástól alapvetően eltérő kétféle gyártási eljárás (olvasztás és zsugorítás útján történő előállítás) miatt sokat foglalkoztam az aluminátcementek gyártási technológiájával. Dolezsai Károllyal együtt végzett ilyenirányú, igen érdekes munkánkról a Párisban(1980) tartott 7.Nemzetközi Cementkémiai Kongresszuson számoltunk be, [2] amelynek során laboratóriumi és üzemi kísérletek alapján bebizonyítottuk, hogy a $CaO \cdot 2Al_2O_3$ ($CA_2$) összetételű nyersanyag égetésénél a maximális mennyiségű (a legnagyobb szilárdságot hordozó) $CaO \cdot Al_2O_3$-at (CA) a kisebb intenzitású égetésnél kapjuk. Gyártástechnológiai szempontból ez igen fontos eredmény volt.

A továbbiakban ezekkel a kérdésekkel sem foglalkozom.

Tevékenységem másik súlypontját a tézisértékűnek tekintett kalcium-aluminát (és ferrit) hidrátok összetételének és szerkezetének átalakulása, (transzformációja) az átalakulás körülményeinek és feltételeinek vizsgálata, az aluminátcementek szerkezete, tartóssága és időállósága képezte.

Az alábbiakban ezekről fogok beszámolni:

1) <u>Az aluminátcementek átalakulása (transzformációja)</u>

Az aluminátcementek hidratációs mechanizmusa a keletkezett hidrátvegyületek és azok kémiai, kristálytani és ásványtani tulajdonságai hosszú ideig közel sem voltak olyan mértékig tisztázva, mint a portlandcementeknél.

A portlandcement és az aluminátcementek hidratációs és szilárdulási mechanizmusa között az a legdöntőbb különbség, hogy az előzőnél a vízzel való reakció folyamán még geológiai értelemben véve is stabilis termékek keletkeznek, aluminátcementeknél viszont a szokványos körülmények között elsődlegesen létrejövő és nagy kezdőszilárdságot biztosító hidratációs termékek ($CAH_{10}$, $CAH_8$, $C_4AH_{13}$) instabilak és idővel stabilis termékekké alakulnak át. Ennek során nem az átalakulás, hanem az átalakulás sztöchiometriájából adódó porozitásviszonyok következtében igen jelentős szilárdságcsökkenés következik be.

Az átalakulási folyamat legjellegzetesebb terméke a trikalcium-aluminát-hexahidrát ($C_3AH_6$). Ez az 50-es évekből származó felismerés [1c, 1d] sok vitára adott alkalmat és a szakemberek körében sokan kétségbevonták magát a reakciót is és a szilárdságcsökkenésben játszott szerepét is.

Vizsgálataim eredményeképpen bebizonyítottam, hogy az átalakulás termodinamikailag törvényszerű, amelyet számos tényező befolyásol. [1c, 1 d, 3,4,5,6]

Ezek közül legfontosabbak:

- a hőmérséklet
- a nedvesség (víz/cement tényező)
- a rendszer pH értéke
- a rendszer $CO_2$ tartalma
- a rendszerek alkálitartalma.

Ezen tényezők hatása a legtöbb esetben összefügg egymással. Különösen fontos a hőmérséklet és a nedvesség együttes hatása, valamint az alkáliák befolyása.

A lehetséges átalakulási recakciók egyébként a következők: [3, 4, 5, 6]

| Jel | Kalcium-aluminát-hidrát | | Kémiai reakciók |
|---|---|---|---|
| 1. | $CAH_{10}$ illetve | ⟶ | $1/3\ C_3AH_6 + 2/3\ AH_3 + 6H$ |
| | $3CAH_{10}$ | ⟶ | $C_3AH_6 + 2AH_3 + 18H$ |
| 2. | $CAH_{10}$ illetve | ⟶ | $1/2\ C_2AH_8 + 1/2\ AH_3 + 4\ 1/2H$ |
| | $2CAH_{10}$ | ⟶ | $2C_2AH_8 + AH_3 + 9H$ |
| 3. | $C_2AH_8$ illetve | ⟶ | $2/3\ C_3AH_6 + 1/3\ AH_3\ 3\ 3H$ |
| | $3C_2AH_8$ | ⟶ | $2C_3AH_6 + AH_3 + 9H$ |
| 4. | $C_4AH_{13}$ | ⟶ | $C_3AH_6 + CH + 6H$ |

Az aluminátcementek szilárdságának alakulása végső soron a hidraulikus szilárdulást biztosító tényezők kifejlődésétől és azon hatásoktól függ, amelyek ezen tényezőkkel szemben hatnak. Mindezek együttes eredménye az aluminátcementek szilárdságának visszaesése és az aluminátcementek megbízhatatlansága.

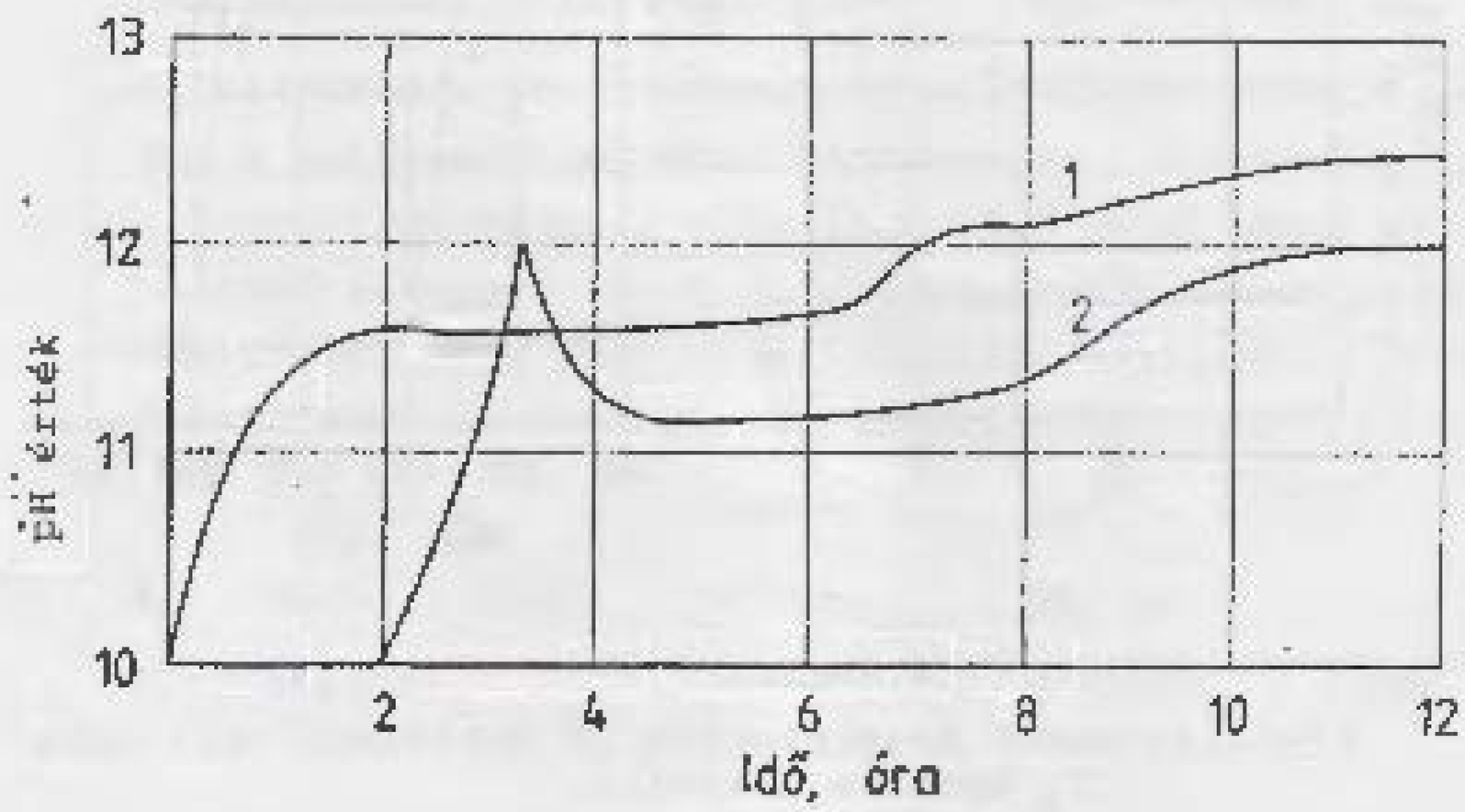
Magának a szilárdságcsökkenésnek közvetlen oka pedig a nagyobb moltérfogatú instabilis vegyületek kisebb moltérfogatú stabilis vegyületekké való átalakulása és az ennek során végbemenő porozitásnövekedés. [1]

2) A transzformációt elősegítő és gyorsító tényezők

Az 1-4 egyenletek egyértelműen mutatják, hogy a változások, amelyek a $CaO-Al_2O_3-H_2O$ rendszerben végbemennek a $C_3AH_6$ irányába történnek. Ezeket a változásokat a víztartalom változása, részben a hőmérséklet növekedése váltja ki, de más hatások is, többek között a pH érték változása, a levegő $CO_2$ tartalma, az alkáliák jelenléte meghatározóan járulnak hozzá a stabilis, vagy viszonylag stabilis kristályfázisok keletkezéséhez.

Ezek közül a hatások közül elsősorban a hőmérséklet, később a beton pH értékének változását vizsgáltam.
A pH növekedésével egyidejűleg kezdetét veszi az oldatba került oxidok kiválása (az A/C arány változik). Megkezdődik a kristályosodás, tehát a hidraulikus kötésre jellemző folyamat. [1c, 1 d]

Az aluminátcementek pH értékét elsősorban a betonacél korróziója szempontjából vizsgáltam. Az 1.ábra szerint a szilárdulás első időszakában a pH értéke 12 körül van.




1.ábra

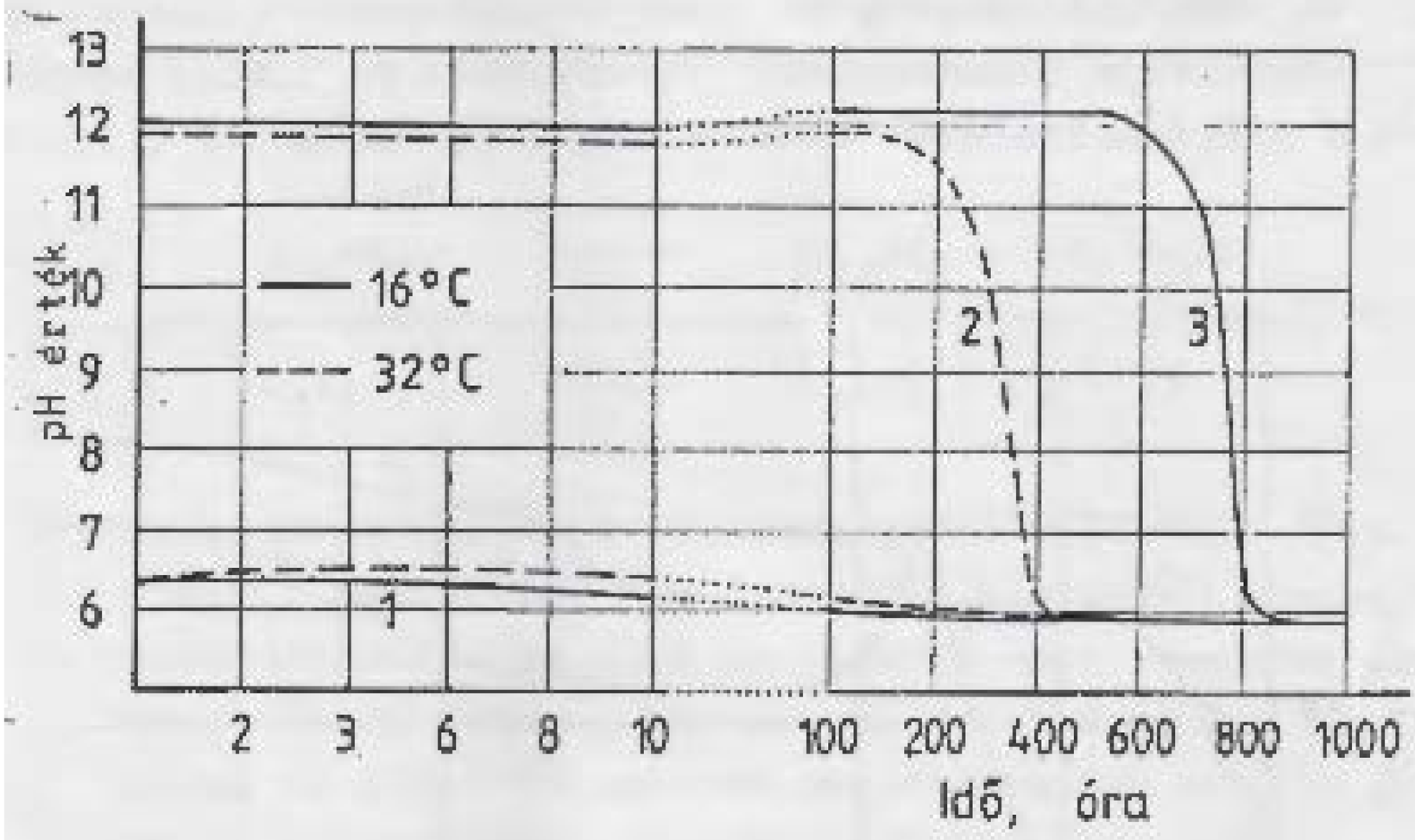
Az aluminátcementek pH értéke vízzel való elkeverés után

1.görbe: Schwiete szerint; 2.görbe: saját vizsgálatok szerint

Korrózióveszély tehát nincs. A portlandcement 12,5-13,5 közötti pH értékénél alig kisebb pH érték elég védelmet nyújt, ha a beton tömör és a betonacél fölötti betonréteg (takarás) elég vastag.

Ha a beton porozitása nagy, a levegő $CO_2$ tartalma a beton karbonátosodását idézi elő. A pH érték csökken. 11,0-10,0 pH érték mellett a korróziós veszély még elhanyagolható. Ha azonban a beton pH-ja 9,0 érték alá csökken, különösen nedvesség jelenlétében, az acél felülete gyorsan oxidálódik. A korrózióveszély tehát fenáll. Tönkrement aluminátcement betonoknál ezzel a jelenséggel találkozunk.

A karbonátosodás szélső esetét a 2.ábrán mutatom be, $CO_2$ kezelés esetén. [7a, 7b]




2.ábra

Aluminátcement szuszpenziók pH értékének változása $CO_2$ kezelés hatására.

1. görbe: $CO_2$ kezelés a kötés kezdetétől
2. görbe: $CO_2$ kezelés 200 órától
3. görbe: $CO_2$ kezelés 700 órától

Betonlétesítményeknél azonban a $CO_2$ hatását (átkristályosodás, a szerkezet felbomlása) a levegő alacsony $CO_2$ koncentrációja miatt csak hosszú idő múlva fejti ki (mint a portlandcementnél). Az apró hatások azonban az aluminátcementeknél összegeződnek és meggyorsítják a hidrátvegyületek átalakulását, tehát a szilárdság visszaesését.

Ezekkel a megállapításokkal nincs ellentmondásban az a kismérvű szilárdságnövekedés, amely egy átalakult beton szerkezetében $CO_2$ hatására végbemegy.

Egészen más jellegű kérdés a betonacél hidrogén által okozott ridegsége miatt előálló korrózió, ami szulfidtartalmú aluminátcementeknél, illetve betonoknál 8,8 pH érték alatt jelentkezik. [8, 9] Ekkor kénhidrogén képződik, amely a vassal reakcióba lépve atomos, majd molekuláris hidrogént képez, amely a betonacél töréséhez vezet.

Ezzel a jelenséggel kellett számolni a Rolandshütte aluminátcementnél és ezzel a lehetőséggel kell számolni a nálunk évek óta használt szovjet aluminátcementeknél is, amelyek tulajdonképpen aluminátsalakok, jelentős kéntartalommal. [1b, 8]

Az oldatfázis pH értékével természetesen összefüggésben van a kalcium-aluminátok oldódása és a hidrátvegyületek kikristályosodása. A mért 11,0-11,5 pH értéket azon kalcium-aluminát ionok hidrolízisének lehet tulajdonítani, amelyek a feloldódott kalcium-aluminátok disszociációjából származnak, az alábbiak szerint: [11]

5. $CaO.Al_2O_3 \longrightarrow Ca^{2+} + 2AlO_2^-$

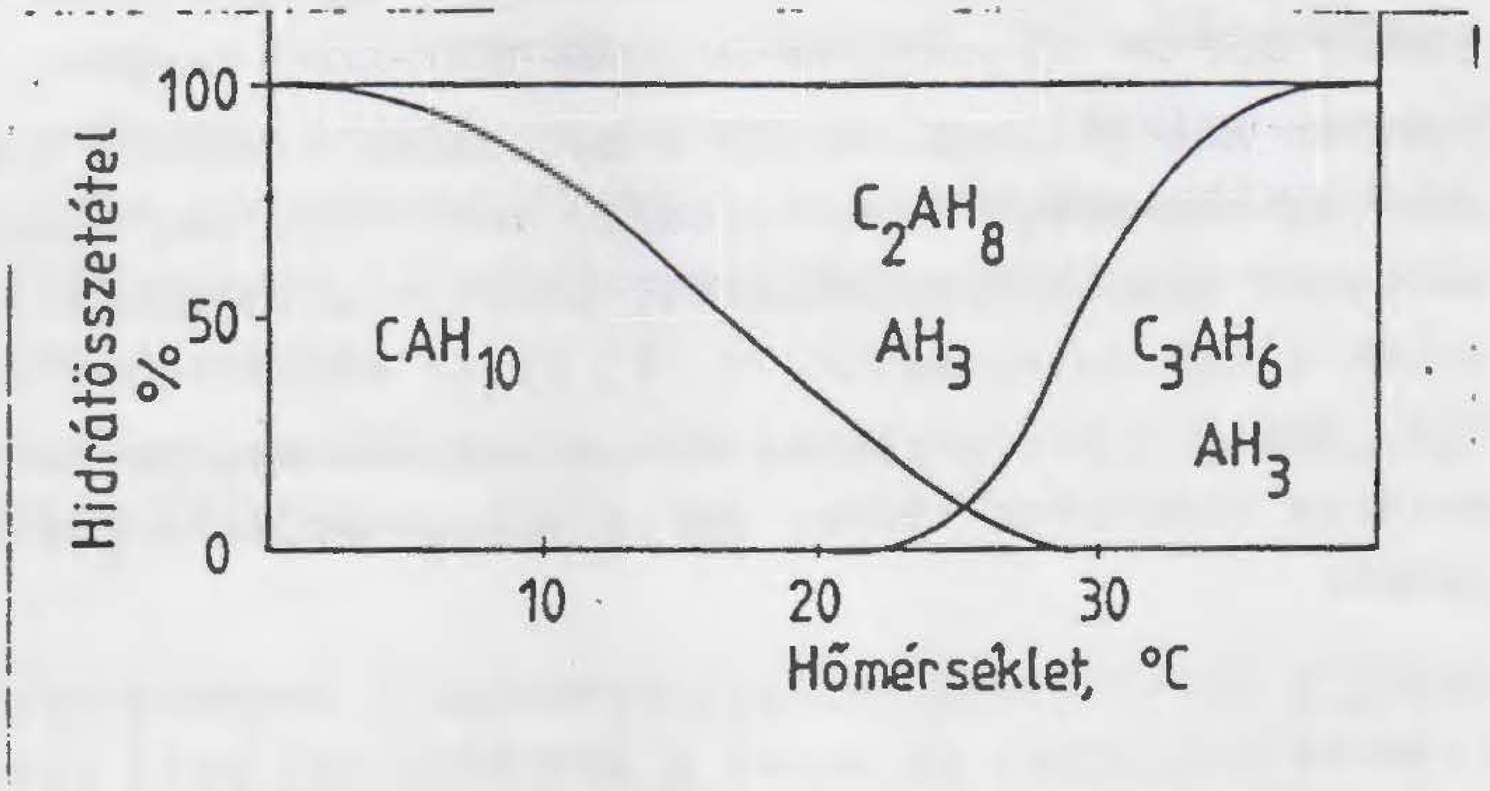
6. $2AlO_2^- + 4H_2O \longrightarrow 2Al(OH)_4^-$

7. $2Al(OH)_4^- \longrightarrow 2Al(OH)_3 + 2(OH)^-$

3) A hőmérséklet szerepe

Az aluminátcementek transzformációja elsősorban hőmérsékletfüggvény, de rendkívül szoros az összefüggés a rendszer víztartalmával, tehát a víz/cement tényezővel.

Csak a hőmérséklet szerepét vizsgálva az elvégzett röntgenvizsgálatok alapján a 3.ábrán látható összefüggést állítottam fel:




3.ábra

A hőmérséklet és a hidrátösszetétel közötti összefüggés.

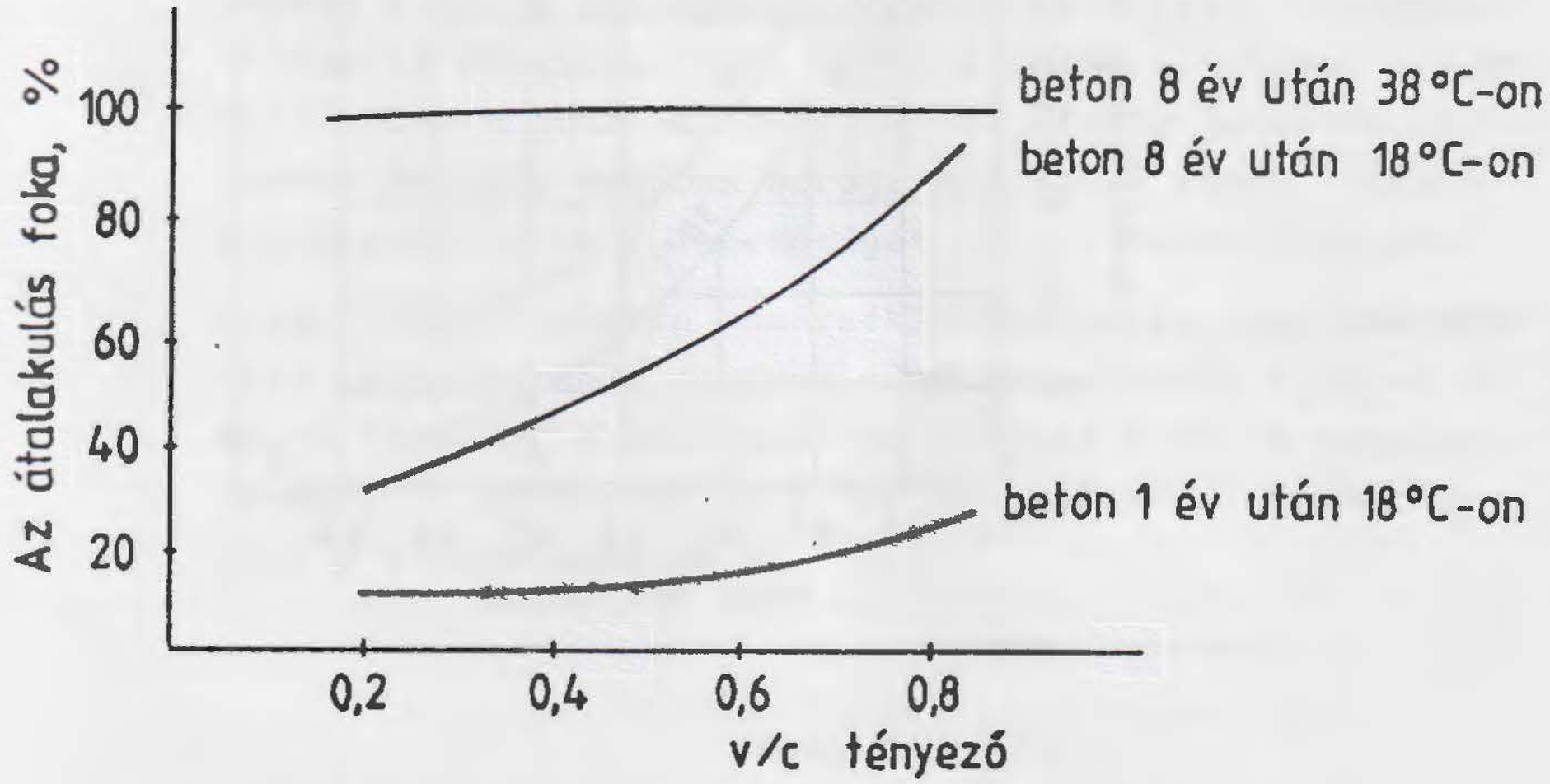
Az ábra világosan mutatja azt a 25 °C - 30 °C közötti hőmérséklethatárt, amely fölött az átalakulás törvényszerűen végbemegy és a reakció eredményeképen a stabilis $C_3AH_6$ és $AH_3$ képződik. A hőmérséklet szerepe döntő. A $CaO-Al_2O_3-H_2O$ rendszerben a $C_3AH_6$ primer kiválási területe 25 °C alatt rendkívül szűk. 30 °C fölött azonban már a $C_3AH_6$ és az $AH_3$ (gibbsit) a rendszer meghatározó vegyülete. Ez magyarázza meg, miért gyorsul az alumináthidrátok átalakulása a hőmérséklet növekedésekor. [ 9 ]

A kalcium-aluminát-hidrátok degradációja a hőmérséklet növekedésével egyébként a hidrátvegyületek teljes bomlásáig tart és 800-900 °C körüli hőmérsékleten CA-t eredményez. Ez a folyamat azonban már átvezet a tüzálló cementek, illetve betonok területére.

A hőmérsékletnek a transzformációban betöltött szerepét tovább erősíti a nagy nedvességtartalom.
E két faktor együtt hat az átalakulásra, s mint ilyen a szilárdságcsökkenésre, amely a beton korábbi, vagy későbbi életében mindenképpen jelentkezni fog.

Természetes, hogy a betont érintő hőhatás szempontjából teljesen közömbös, hogy kívülről kapja az átalakuláshoz elvezető hőmérsékletet, vagy a hidratációs hő révén melegszik fel a beton az átalakulás hőmérsékletére. Nagy tömegű zárt betontömbök belsejében az 1 nap alatt felszabaduló 310-370 Joule/g hidratációs hő közel azonos a portlandcementnél 90 nap alatt felszabaduló hidratációs hővel. Az aluminátcementek szilárdságalakulásában ez a tényező igen fontos szerepet játszik, de ebből különböző veszélyek is származhatnak az aluminátcement-betonoknál (pl.repedések).

A hőmérséklet és a víztartalom szorosan összefüggő tényezők. A 4.ábrán mutatom be a hőmérséklet, a v/c tényező, a tárolás időtartama és az átalakulási fok közti összefüggést.

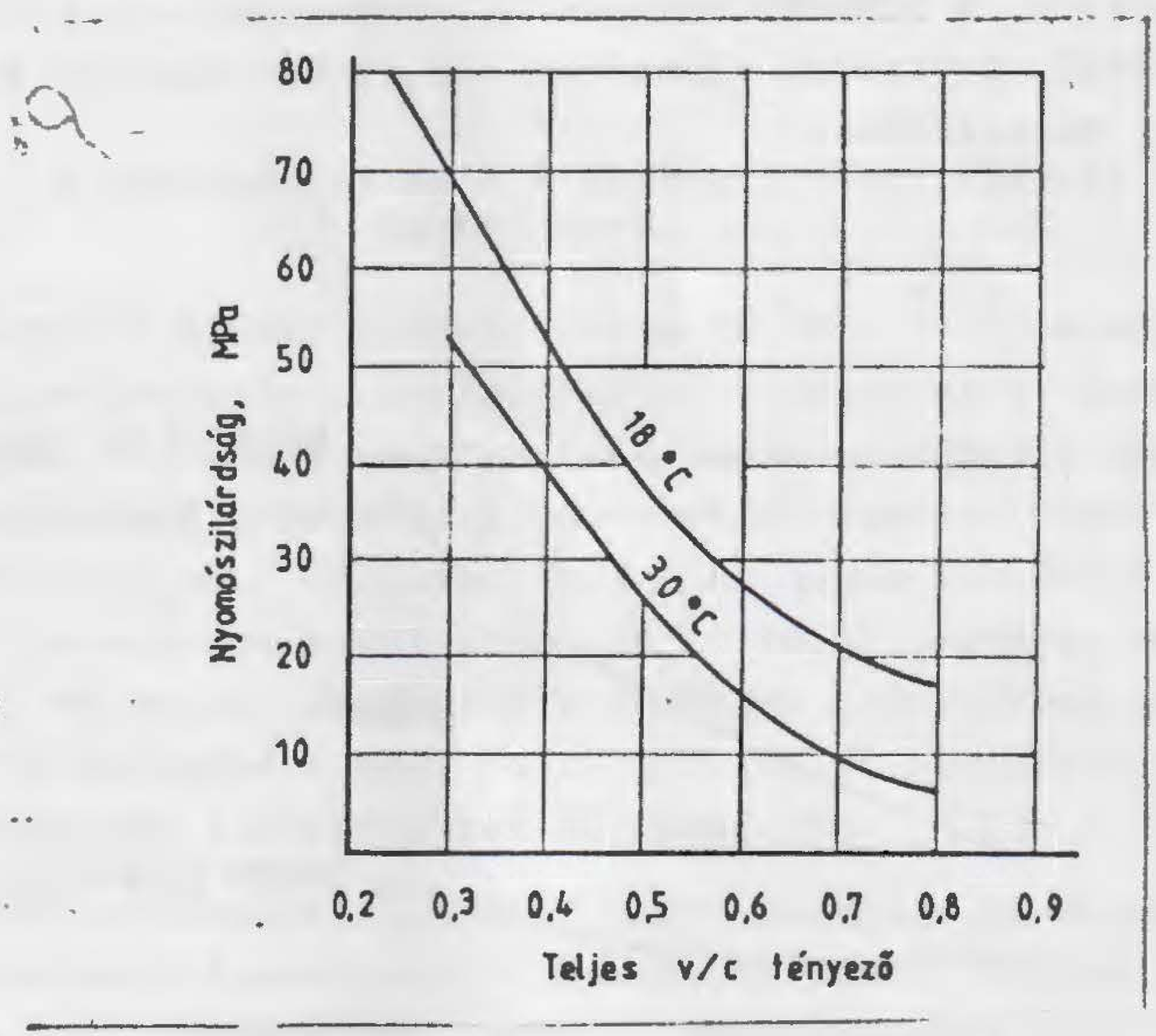



4.ábra
Az aluminátcementek átalakulása a hőmérséklet, a v/c tényező és az időtartam függvényében.

18 °C hőmérsékleten 1 év után minimális az átalakulás, 8 év után a v/c tényező függvényében fokozatosan növekszik. 38 °C hőmérsékleten pedig 8 év után gyakorlatilag már teljes az átalakulása. [7a, 7b, 10]

A v/c tényező szerepéről ezen a helyen nem kell sokat beszélni. Mégis. Az aluminátcementek felhasználása során a v/c tényezővel követték el a legnagyobb hibát. Félrevezette a felhasználókat/a gyártókat és a cementipari szakembereket is/, hogy viszonylag kis cementadagolással, a bedolgozhatóságot kényelmessé tevé nagy v/c tényezővel (0,50-0,60) is igen kedvező betonszilárdságokat értek el, a felhasználás korai szakaszában.

Az évtizedeken át végzett viszgálatok alapján állítottam össze az 5.ábrán bemuatatott diagramot, amely szerint még alacsony hőmérsékleten is rohamosan csökken a nyomószilárdság a v/c tényező növekedésével.




5.ábra

a v/c tényező és a hőmérséklet hatása a beton nyomószilárdságára.

Sajnos Magyarországon az aluminátcementek gyártásának és felhasználásának első évtizedeiben még nem ismerték a kristályszerkezet átalakulásával (transzformáció) kapcsolatos problémákat, a v/c tényező, a porozitás, a hőmérséklet szerepével kapcsolatos veszélyeket. Ezekből származnak azok a káros hatások, amelyek következményeivel legtöbb esetben még ma is számolnunk kell. [ 9, 10, 11]

4) <u>Porozitás, fajlagos felület</u>

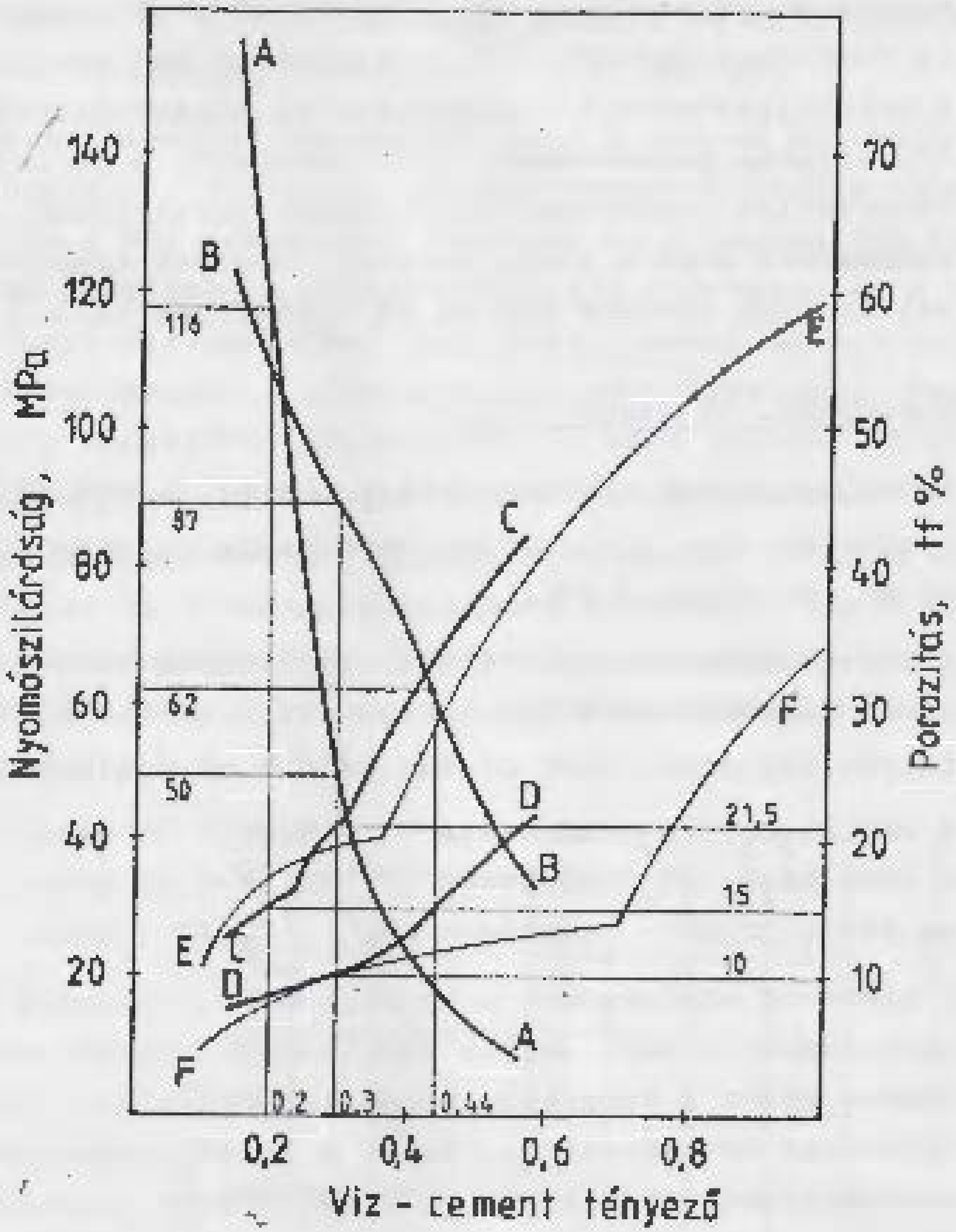
Az aluminátcementek átkristályosodásának végső terméke minden esetben a szabályos rendszerbe tartozó $C_3AH_6$, az $AH_3$ és a víz. [ 6 ]

A hexagonális formából szabályos formába való átmenet során megváltozik a hidrátvegyületek sűrűsége, a kristályok nagysága. Csak néhány példát méréseinkből:

a $CaO.Al_2O_3.10H_2O$ sűrűsége 1,72-1,78 g/ml.,
a $3CaO.Al_2O_3.6H_2O$ sűrűsége 2,52-2,53 g/ml.,
az $Al_2O_3.3H_2O$ sűrűsége kb. 2,40 g/ml.

A hidrátok sűrűségének ezen változása, valamint a víztartalomnak a hexagonális hidrátvegyületekből való kilépése miatt a cementpép porozitásának olyan nagymérvű változása következik be, amely a belső szerkezet teljes átalakulását jelenti, amely a szilárdság jelentős csökkenése mellett magában hordja a további káros hatások kibontakozásának a lehetőségét is (pl.karbonátosodás).

Mindez természetesen hőmérsékletfüggvény. Nagyhőmérsékletű hidratációnál (amikor a CA közvetlenül $C_3AH_6$-á és $AH_3$-á alakul), a kritikus v/c tényező 0,35. A nyomószilárdság, a porozitás és a v/c tényező közti összefüggést a 6.ában mutatom be. [11]




6. ábra

A nyomószilárdság, a porozitás és a v/c tényező közti összefüggés

A $C_3AH_6$-re vonatkozó porozitásgörbéket a C(mért) és E (számított) vonalak mutatják. Látható, hogy a görbék elég közel esnek egymáshoz. A $CAH_{10}$-re vonatkozó ugyanezen görbék (D és F). A nyomószilárdság és a porozitás közti összefüggés is látható a 6.ábrán.

7 napon át 70°C hőmérsékleten hidratált $C_3AH_6+AH_3$ nyomószilárdságát az A görbe, porozitását a C görbe ábrázolja, míg a 7 napon át 10°C hőmérsékleten képződött $CAH_{10}$ nyomószilárdságát a B görbe, porozitását a D görbe mutatja.

A hőmérséklet és a nedvesség összefüggése a pórusszerkezet kialakulását, tehát alapvetően befolyásolja. A kérdések elméleti vonatkozásait Névay dolgozta föl.

## 5) Az aluminátcementek karbonátosodása

A portlandcementek karbonátosodása jól ismert jelenség. Az aluminátcementek karbonátosodása egészen más folyamat. Ezzel igen részletesen foglalkoztam.[6,8,9,10]

A $CaO-Al_2O_3-H_2O$ rendszerben a hőmérséklettől függően 22-25 °C fölötti kialakul a stabilis állapot (3.ábra). Ez a stabilitás azonban csak a $CO_2$ mentes atmoszférára vonatkozik, ami a gyakorlatban sohasem adott.

A $CO_2$ a legtöbb kalcium-aluminát-hidráttal reakcióba léphet [9,10] és kalcium-aluminát-karbonát-hidrátot képez, amelynek összetétele $C_3A.CaCO_3.H_{12}$. Ezt a vegyületet, amely szerkezetileg a $C_4AH_{13}$-ra hasonlít, röntgendiffrakciós vizsgálattal kimutattuk. Reflexiója $CO_2$ mentes közegben nem jelentkezik. A karbonát-hidrát képződés azonban a karbonátosodási folyamatnak csak egy közbeeső állomása. A folyamat teljes lejátszódása után a rendszerben csak a $CaCO_3$ valamelyik módosulata és alumínium-hidroxid (hidrargillit, esetleg gibbsit formájában) lesz jelen.

A $CO_2$ hatását tehát a karbonátosodás intenzitását a cement, vagy beton porozitása fokozza. A $CO_2$ felvétel rendkívül erős hatást gyakorol az ujonnan képződött hidrát-fázisok átalakulására és ezen keresztül a porozitás változás miatt a megszilárdult cement térkitöltésére.

A $CO_2$ hatását a nedvességtartalom jelentősen fokozza. Meggyorsul a karbonátosodási folyamat alkáliák jelenlétében, s emellett az alkáliák mintegy katalizátorként is hatnak.

A karbonátosodási folyamatban legfontosabb szerepet játszó reakciók a következők:

| Kalcium-aluminát-hidrátok | | Kémiai reakciók |
|---|---|---|
| 8. | $C_3AH_6+3CO_2$ ⟶ | $3CaCO_3+2Al(OH)_3+3H_2O$ |
| 9. | $CAH_{10}+CO_2$ ⟶ | $CaCO_3+2Al(OH)_3+7H_2O$ |
| 10. | $C_2\hat{A}H_8+1/2CO_2$ ⟶ | $1/2C_3ACaCO_3H_{12}+1/2AH_3+1/2H$ |
| 11. | $C_4\hat{A}H_{13}+CO_2$ ⟶ | $C_3ACaCO_3H_{12}+H$ |
| 12. | $C_3ACaCO_3H_{12}+3CO_2$ ⟶ | $4CaCO_3+AH_3+9H$ |
| 13. | $C_2AH_8+2K_2CO_3$ ⟶ | $2CaCO_3+AH_3+2K_2O+5H$ |

Látható, hogy az alumináthidrátok masszív $CO_2$ hatásra kalcium-karbonáttá (kalcit) és az aluminium-hidroxid valamelyik vegyületévé, pl. hidrargillitté, vagy gibbsitté alakulnak.

A 10. és a 12-es reakciók a kalcium-aluminát-karbonát-hidrát átmeneti jellegét megerősítik.

Az aluminátcementek, illetve betonok teljes felbomlása a fenti reakciók alapján is elképzelhető volna.

A karbonátosodási jelenségekkel kapcsolatban azonban általános szabályként állapíthatjuk meg (és itt a portlandcementhez való hasonlóság már nyilvánvaló), hogy az aluminátcementek karbonátosodása akkor ér el számottevő értéket, ha szabad víz van jelen és ha a beton porozitása lehetővé teszi a víz elhelyezkedését és a $CO_2$ behatolását. Ebből következik, hogy tömör, kis v/c tényezőjű betonoknál még évek után is csak igen kis mélységekig jelentkezik a $CO_2$ hatás. Nagy v/c

tényezőjű (0,5-0,6) betonokban azonban 10-15 év múlva már tekintélyes mélységre terjed a karbonátosodás.

A karbonátosodás révén azonban a szilárd halmazállapotú reakciótermékek össztömege és térfogata nagyobb lesz. így a porozitás csökken és a szilárdság is kis mértékben növekedhet.[8,9,10,11]

A karbonátosodás kérdésével a vasalt aluminát-cement-betonok acélkorróziójának lehetőségével, illetve veszélyével kell számolni. (2.pont)

6) Az alkáliák szerepe

Pórusos szerkezetű cementkőnél, habarcsnál, vagy betonnál $CO_2$ jelenlétében a rendszerben jelenlévő, vagy a rendszerbe bejutó alkáliák végzetes módon fejtik ki romboló tevékenységüket. Akár az aluminátcementekben, vagy a beton-adalékanyagban, akár a felhasznált vízben jelen lévő alkáliákat tartalmazó vegyületek a beton pórusain át a kapilláris hatások következtében feljutnak a beton felületére és az ott jelenlévő, a levegő $CO_2$ tartalmával reakcióba lépnek. [1c,5,6,8,9,10,13]

A reakcióegyenletek:

14. $2KOH+CO_2 \longrightarrow K_2CO_3+H_2O$

15. $K_2O+CO_2 \longrightarrow K_2CO_3$

Az így keletkezett alkáli-karbonátok hatását és szerepét az alábbi reakcióegyenleteken keresztül mutatom be: [5,6,8,9,10,13]

16. $K_2CO_3+CaOAl_2O_3.10H_2O \longrightarrow CaCO_3+K_2O.Al_2O_3+10H_2O$

Az oldat alkálikoncentrációjának növekedésével az $Al_2O_3$ oldhatósága növekszik. Ez a reakció egyébként önmagában is jelzi a hexagonális aluminát-hidrátok instabilitását és a végső, stabilis $CaCO_3$ megjelenését.

Az oldatban lévő $K_2O.Al_2O_3$ a beton pórusaiban mindig jelen lévő vízzel és $CO_2$-vel az alábbiak szerint lép reakcióba:

17. $CaO_2+K_2O.Al_2O_3+aqu \longrightarrow K_2CO_3+Al_2O_3.3H_2O+aqu.$

Az alkálikarbonát a fenti reakciók alapján tehát teljes egészében regenerálódik és az aluminátcementek teljes felbomlását eredményezi.

Az összegezett reakció a következő:

18. $CaO.Al_2O_3.10H_2O+CO_2+aqu \longrightarrow CaCO_3+Al_2O_3.3H_2O+aqu.$

Hasonló reakciók írhatók fel más alumináthidrátokkal is. Pl.:

19. $C_2AH_8+2K_2CO_3+aqu \longrightarrow 2CaCO_3+AH_3+2K_2O+5H_2O$

A folyamat tehát a kalcium-aluminát-hidrátok teljes felbomlásáig, s a geológiai értelemben is stabilis hidratációs termékek ($CaCO_3$, $Al_2O_3.3H_2O$) kialakulásáig tart.

Az alkáliák regenerálódása miatt viszonylag kis alkálimennyiségek képesek folyamatossá és teljessé tenni a jelzett reakciókat.

Az alkáli hatás végső kifejlődésében tehát ugyanaz, mint a $CO_2$ hatása. A hatásmechanizmus szempontjából a két tényező együttes szerepe is azonos.

A változások gyors kifejlődéséhez természetesen több tényező egyidejű hatása szükséges:

- víz jelenléte
- az aluminátcement, habarcs, vagy beton porozitása,
- a $CO_2$ jelenléte,
- oldható, vagy oldhatóvá váló alkáliák jelenléte,
- meleg és nedves környezet. [11,12]

Gyakorlati szempontból az alkáli hidrolízisen alapuló hatások csak akkor érnek el nagyobb értéket, amikor

a porozitás, vagy ami ugyanezt jelenti, a beton áteresztőképessége nagy. Ezért max. 0,4 v/c tényezővel szabad dolgozni.

7) Az aluminátcementek vastartalma

A vas különböző oxidjai fontos összetevői az aluminátcementeknek. A vasoxidok $Fe_2O_3$-ra számítva tág határok között 0;1-20 %-os mennyiségben fordulhatnak elő az olvasztott, vagy zsugorított aluminátcementekben.

Nagyobb vasoxid és $SiO_2$ tartalmú bauxitok redukáló olvasztásánál (aknakemence, vagy elektrokemence) mindkét oxid redukálódik. A folyamat ugyanúgy megy végbe, mint a nyersvasgyártásnál és hasonlóan mint a ferroszilicium gyártásánál.

A kohósítás során nyert aluminátsalak természetesen szegény vasoxidban (ez következik a kohósítás technnológiájából). Legismertebb aluminátsalak a Rolandshütte olvasztott timföldcement, 0,4-1,0 FeO és 0,3 % MnO tartalommal. Az alacsony vastartalom miatt a cement színe világosszürke, szemben az olvasztott aluminátcement majdnem fekete színével, vagy a nagy vasoxidtartalmú, oxidáló atmoszférában zsugorodásig égetett aluminátcementek vörös színével.

A Citadur védjegyű, zsugorítással előállított bauxitcement nagy vastartalma (14-15 % $Fe_2O_3$) teszi lehetővé az aránylag alacsony, (1250-1350 $^{o}C$) égetési hőmérsékletet.

Az aluminátcementek előállításának másik módja az olvasztás útján történő előállítás. A francia cementipar a teljes megolvasztás útjára lépett és ezt átvette tőle jóformán minden ország, ahol aluminátcementet gyártani akartak.

A vasoxid tartalmú aluminátcementek ásványi összetétele kiszámításánál abból indulunk ki, hogy az összes vastartalom a portlandcementből is jól ismert $C_2F$ és $C_4AF$-vegyületekben kötődik le.

A $C_2F$-et korábban nem tartották hidratizálható klinkerásványnak, DTA vizsgálatokkal bebizonyítottam, hogy a $C_2F$ is hidratizál. A hidratációnál végbemenő folyamatok: 1c,5,8,11,13

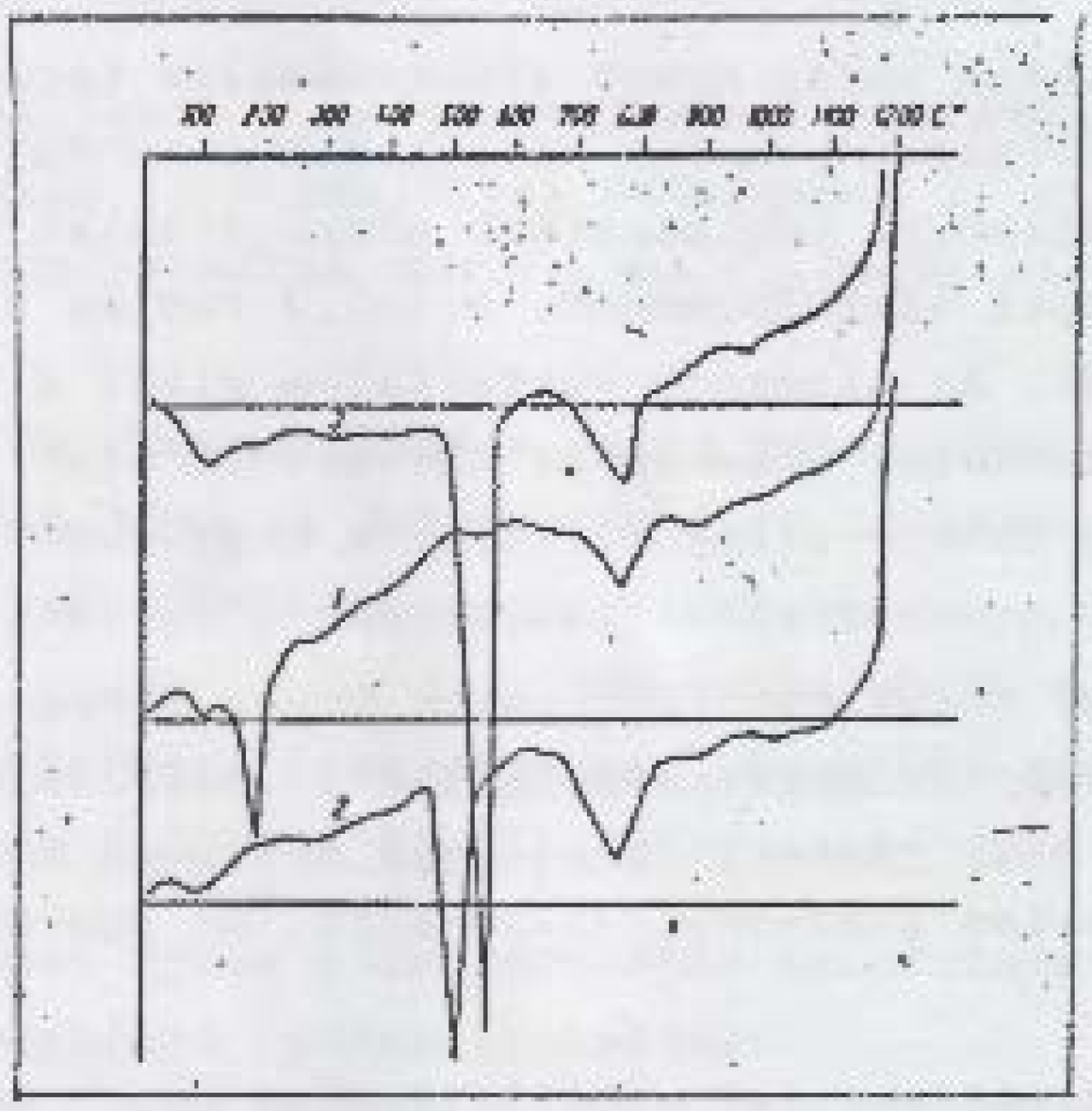
20. $2CaO.Fe_2O_3+5H_2O \longrightarrow 2CaO.Fe_2O_3.5H_2O$

Vízfelesleg jelenlétében a hidrolízis az alábbi egyenlet alapján folyik tovább:

21. $2CaO.Fe_2O_3.5H_2O \rightarrow CaO.Fe_2O_3.nH_2O+Ca(OH)_2 \longrightarrow$

$\longrightarrow Fe_2O_3.nH_2O+Ca(OH)_2$

A DTA görbéket a 7.ábárán láthatjuk.

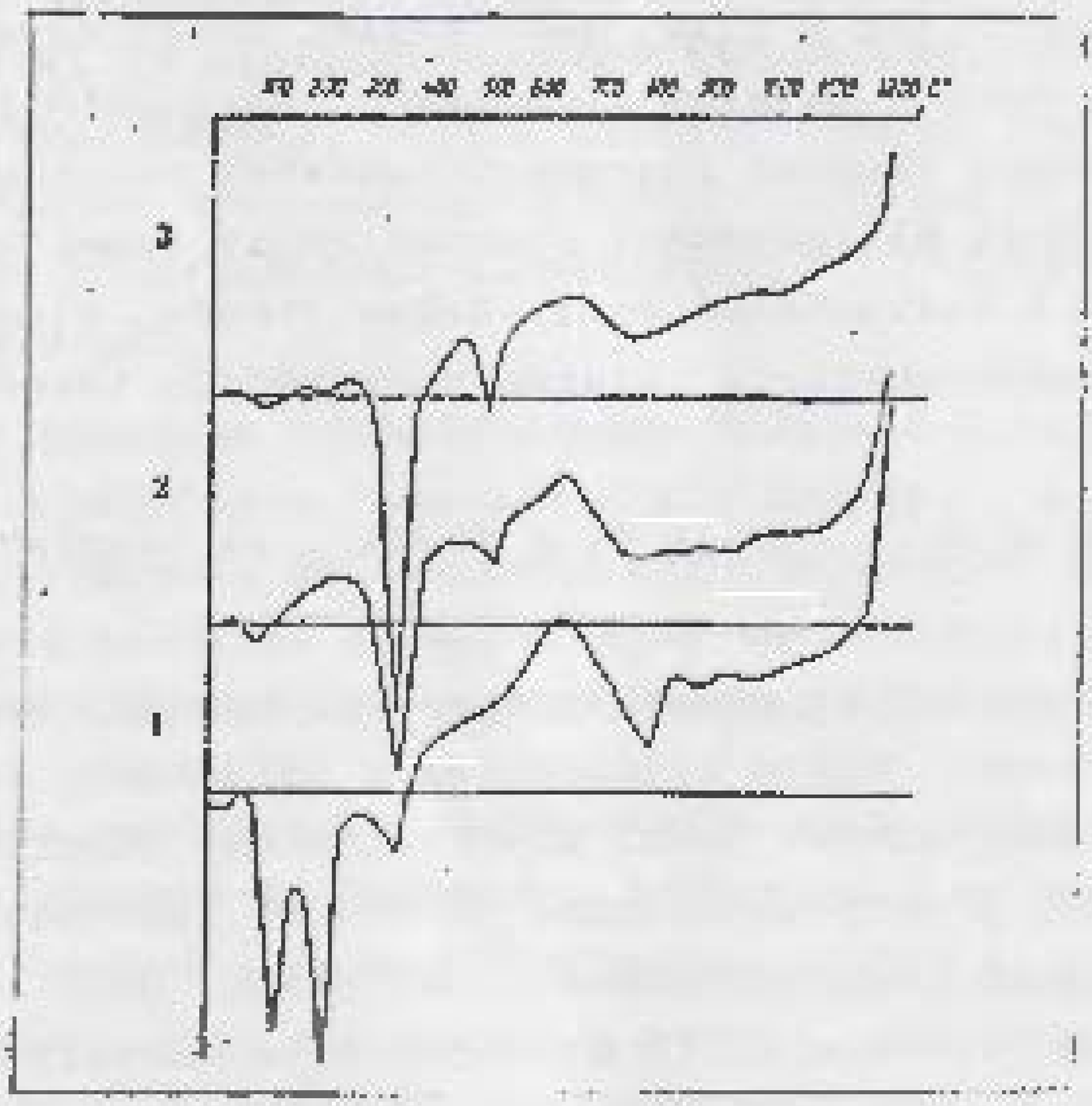



7.ábra

A $C_2F$ hidrolízisének DTA felvétele.
1.görbe: 18°C hőmérsékleten
2.görbe: gőzben kezelt
3.görbe: autoklávban kezelt $C_2F$ DTA görbéje

Annak ellenére azonban, hogy a $C_2F$ hidratációs reakciókra képes, pontosan mérhető kötésidővel rendelkezik, nem ad számottevő szilárdságot.

Igen érdekes a $C_4AF$ hidratációja. A $C_4AF$ már 20°C alatt is hidrolizál és a hidratáció eredménye mikroszkópi, röntgen és DTA vizsgálatok alapján igazolható. Ezt is DTA felvételen mutatom be a 8.ábrán.[1c,5,8,11,13]




8.ábra

1.görbe: a kötés után vízben tárolt $C_4AF$
2.görbe: gőzkezelt
3.görbe: az autoklávban kezelt $C_4AF$ DTA görbéje

A reakcióegyenletek:

22. $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3+nH_2O \longrightarrow 3CaO.Al_2O_3.6H_2O+$
$+CaO.Fe_2O_3.(n-6)H_2O$

illetve:

23. $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3+nH_2O \longrightarrow 3CaO.Al_2O_3.6H_2O+$
$+2Fe(OH_3)+Ca(OH)_2+(n-10)H_2O$

A gőzölt, illetve az autoklávban gőzkezelt próbatestek DTA felvételein a 330-340 $^{o}$C-nál jelentkező hőeffektusok igazolják a $C_3AH_6$ képződését, tehát ugyanoda jutottunk, mint a kalcium-aluminátok hidratációjánál. A párhuzamosan végzett röntgenvizsgálatok ezt megerősítették. Az eddigi állításokkal szemben tehát semmi különbség nincs a vastartalmú és a vasban szegény aluminátcementek tulajdonságai, illetve hidratációs termékei között.

A $CaO.Fe_2O_3.n.H_2O$ is és a $Fe(OH)_3$ is barnásvörös csapadék.

Megjelenésük az aluminátcementből készült betonokat is megszinezi. Külön érdekessége a kérdésnek, hogy a ferritvegyületek fenti átalakulásának hőmérséklete egybe esik a kalcium-aluminát-hidrátok ismertetett átalakulásának hőmérsékletével. Valószínű, hogy a vashidroxidok megjelenése miatt követték el a cementkutatók azt a hibát, hogy az aluminátcementek szilárdságának visszaesését azok vastartalmának tulajdonították.

8) <u>Az aluminátcementek végső szilárdságát befolyásoló kolloid-kémiai folyamatok</u>

A kalcium-aluminátok hidratációs termékeinek fázisösszetétele, szilárdsága és különösen szövetszerkezeti és kolloidkémiai jellemzői a különböző tényezők (idő, hőmérséklet, v/c tényező, $CO_2$ hatás, alkálikorrózió) hatására nem mindig a várakozásnak megfelelően változnak.

Korábban arra sem találtak magyarázatot, minek köszönhető az aluminátcementek, illetve betonok "maradó" szilárdsága abban az esetben, ha a cement átment a teljes átalakuláson, sőt szélső esetben a teljes felbomlás állapotába került.

Ennek ugyan magyarázatát adtuk a porozitás-szilárdság közti összefüggéssel, azonban nem kétséges, hogy ebben a "maradék" szilárdságban igen jelentős szerepet játszanak a nagy diszperzitású új képződmények.

A nagy diszperzitású fázisok között különleges helyet foglal el az aluminátcementek hidratációjánál, illetve hidrolízisénél, majd a transzformációs folyamatoknál képződő igen nagymennyiségű aluminium-hidroxid-gél, illetve a vastartalmú aluminátcementeknél képződő vas-hidroxid-gél.

Ezek a hidrátok rendkívül nagy felületű kolloidok formájában képződnek, amelyek stabilitásával, a nagy felület szerepével, az öregedés során végbemenő diszperzitás változásokkal és egyáltalán az átalakulási viszonyok kolloid-kémiai vonatkozásaival alig foglalkoztak.

Kutatási eredményeim egyértelműen arra utalnak, hogy a bauxitcement-betonokban a hidratációs és átalakulási termékek a termodinamikailag stabil állapot felé közeledve olyan állapothoz tartanak, amelynek végterméke víz jelenlétében az aluminium-hidroxid és a kalcium-karbonát. Mindkettő geológiailag is stabilis vegyületnek tekinthető.

Ugyanez vonatkozik a vasvegyületek átalakulására is, amelyeknél a rendszer végső stabilis termékei a $Fe_2O_3.XH_2O$ és a $CaCO_3$.
Az aluminátcementek hidratációja során keletkező aluminium- és vas-hidroxid-gélek igen nagy felületűek.

Ezekkel a kérdésekkel kapcsolatos elképzeléseimet a Szegedi József Attila Tudományegyetem Kolloidkémiai Tanszékén megbízásomra végzett munka megerősítette.

BET készüléken végzett nitrogénadszorpciós mérések során rendkívül fontos információkat szereztünk az alumínium- és vas-hidroxid, valamint kalcium-aluminátok és alumínát-cementek hidratációs termékeinek diszperzitására vonatkozóan.

Az idő függvényében az alumínium- és a vas-hidroxidok felülete csökken (a gélek "öregedése").

Az adszorpciós mérések eredményei:

| Adszorbens | BET$_2$felület $m^2/g$ | Felületi textura |
|---|---|---|
| 1. CA 90°C 6 óra előtte 28 nap 5°C | 10,57 | mikropórusok |
| 2. CA 20°C, 1 nap $H_2O$-ban tárolva | 11,37 | $r_p$=18-40Å° |
| 3. CA 20°C, 90 nap vízben tárolva 5°C | 8,06 | $r_p$=10-40Å° |
| 4. $Al(OH)_3$, 1 nap | 189 | $r_p$=12-20Å° +mikropórusok |
| 5. $Al(OH)_3$, 2 hónap | 124 | $r_p$=12-20Å° |
| 6. $Fe(OH)_3$, 1 nap | 268 | csak mikropórusok |
| 7. $Fe(OH)_3$, 2 hónap | 178 | |

Az $Al(OH)_3$ gélek fajlagos felülete tehát egy nagyságrenddel nagyobb, mint a kalcium-aluminát-hidrátok fajlagos felülete.

Ugyanez a jelenség figyelhető meg az $Fe(OH)_3$ géleknél is azzal a különbséggel, hogy az $Fe(OH)_3$ fajlagos felülete még az $Al(OH)_3$ gélnél is nagyobb.

A kalcium-aluminát-hidrátok és az $Al(OH)_3$, illetve az $Fe(OH)_3$ gélek fajlagos felülete közötti óriási különbség miatt ezek diszperzitás változásának hatására kialakuló szilárd váz a kötés során is és később a szilárdulás időszakában a szilárdságnövekedést, majd

egy nem elhanyagolható szilárdságot eredményez a kalcium-aluminát-hidrátok teljes felbomlása után is.

Ezzel kapcsolatban utalok azokra a következtetésekre is, melyeket Révay-val közösen vontunk le egyrészt a pórusok mérete és az átalakulási reakciók sebessége, másrészt a pórusok mérete és a szilárdság közötti összefüggésekkel kapcsolatban. [11]

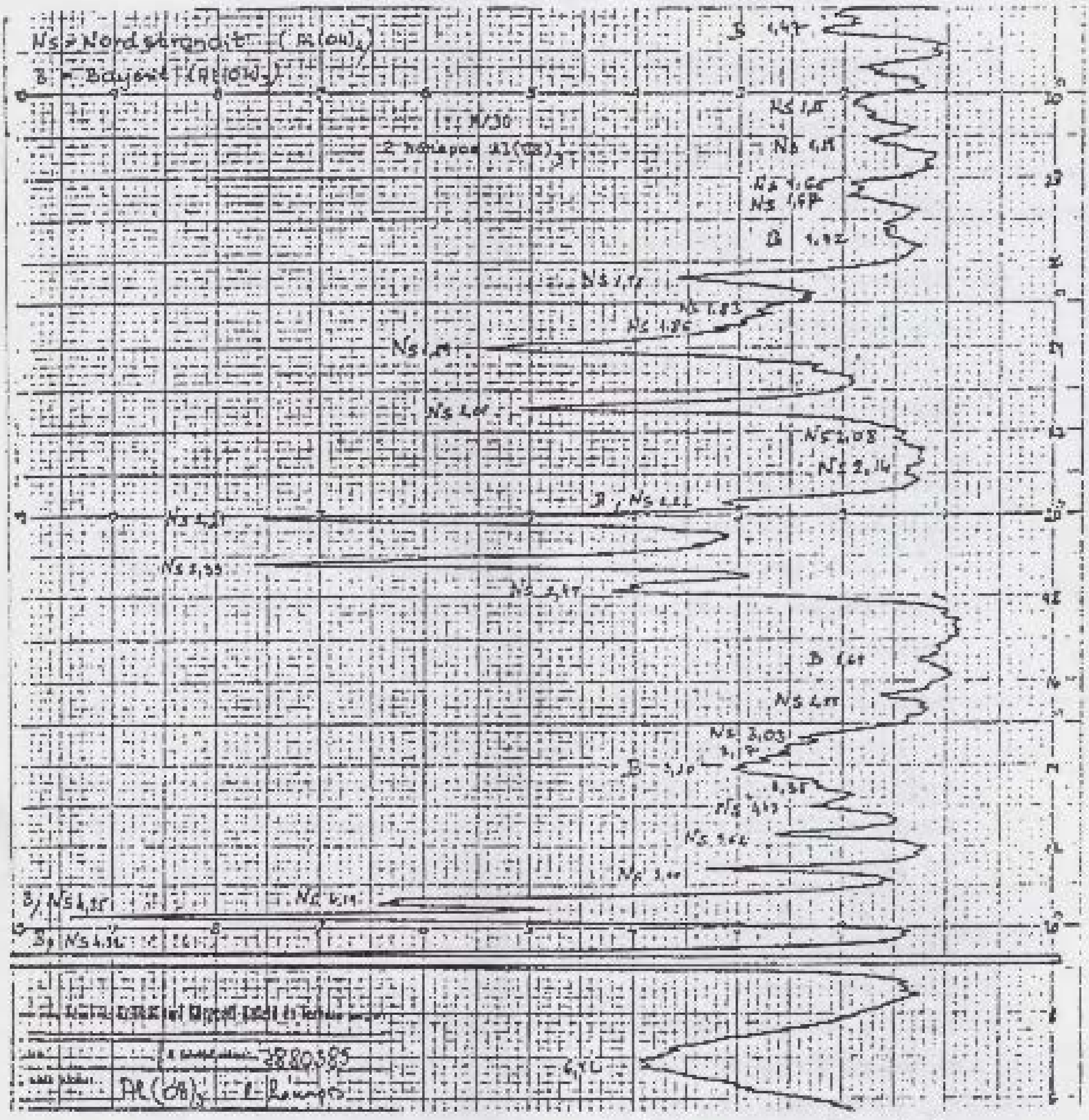
9) <u>Az aluminátcementek, illetve betonok végső szilárdsága</u>

A $CaO-Al_2O_3-H_2O$ rendszer határesetei az $Al(OH)_3$ és a $CaCO_3$. Ezen belül a különböző tényezőktől ($CaO/Al_2O_3$ koncentráció, v/c tényező, hőmérséklet, stb.) függően képződnek a különböző víztartalmú és különböző kristályszerkezetű kalcium-aluminát-hidrátok, amelyek közül legstabilisabb a szabályos rendszerbe tartozó $3CaO.Al_2O_3.6H_2O$. A $CaO/Al_2O_3$ koncentrációjától és a hőmérséklettől függően azonban a rendszer valamennyi vegyületének meg van a lehetősége, hogy a fenti határeseteket elérje és fennáll a lehetősége az aluminátcementek teljes felbomlásának is. Az ismertetett $CO_2$ és alkálihatások ezeket az átalakulási folyamatokat hihetetlen mértékben felgyorsítják. De ezeket most nem tárgyalom.

Hosszú időre kiterjesztett vizsgálataim során ezzel a felbomlott állapottal nem egyszer találkoztam [11] anélkül, hogy a szilárdság teljesen megsemmisült volna. Ennek okát és magyarázatát keresve jutottam el az előző pontban tárgyalt kolloidképződési folyamatokhoz és határfelületi kérdésekhez. Hogy milyen erők, pontosan milyen mértékben vesznek részt ebben a folyamatban, azt igen nehéz lenne megmondani. Az azonban biztos, hogy a teljes felbomlásig eljutott aluminátcement-betonok maradék szilárdságát óriási felületüknél fogva az $Al(OH)_3$ és az $Fe(OH)_3$ gélek biztosítják. Emellett a kolloid rendszer, röntgenvizsgálatok alapján

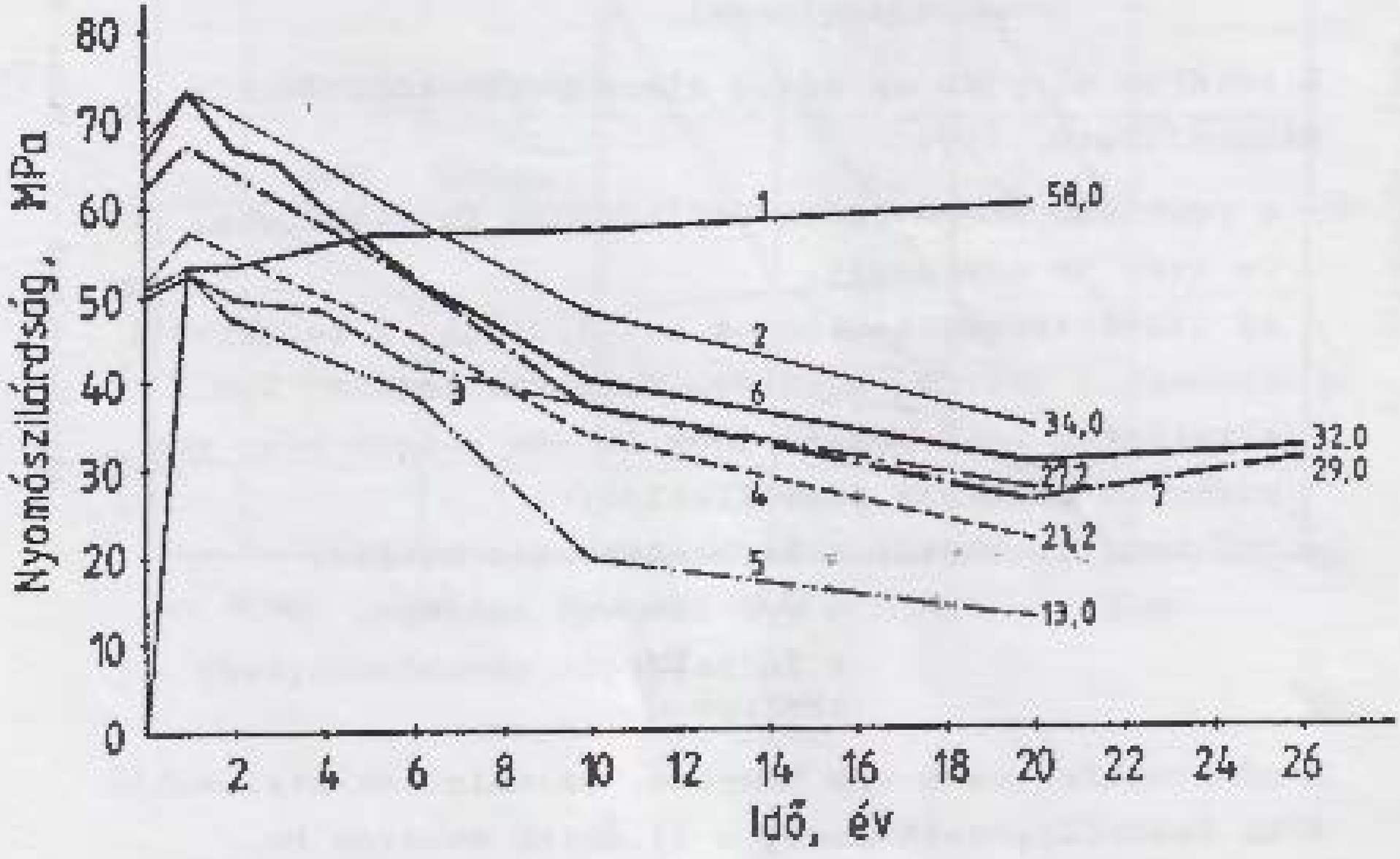
bebizonyíthatóan, igen lassan mikrokristályos állapotba megy át és úgy is átveszi a hidrátvegyületek szilárdságának egy részét. (9.ábra)

Csak a transzformációs folyamaton átment aluminátcementek (betonok) végső szilárdságát pedig az átalakulásból következő porozitásviszonyok és kolloidkémiai folyamatok összessége adja meg. [ 14,15 ]



9. ábra. 2 hónapos $Al(OH)_3$ röntgenfelvétele

Befejezésül és összefoglalóul két diagramot mutatok be a hosszú időn át végzett kísérleteimből [7a, 7b, 9] megjegyezve, hogy a szilárdságalakulás időbeli alakulásával, annak számszerinti becslésével Révay részletesen is foglalkozott.




10.ábra

Az aluminátcement-betonok szilárdsága az idő függvényében.
(Levegőn tárolva)

Az 1.görbe a portlandcement-beton szilárdságának alakulását mutatja. v/c tényező 0,4. Cementadagolás 300 kg/m$^3$.

A 2.görbe aluminátcement-beton szilárdságának változását mutatja, laboratóriumi tárolás mellett. v/c tényező 0,4. Cementadagolás 300 kg/m$^3$.

A 3.görbe ugyanez a beton, szabadban való tárolásnál.

A 4.görbe aluminátcement-beton laboratóriumi tárolás során. v/c tényező 0,64. Cementadagolás 300 $kg/m^3$.

Az 5.görbe ugyanez a beton, szabadban való tárolás során.

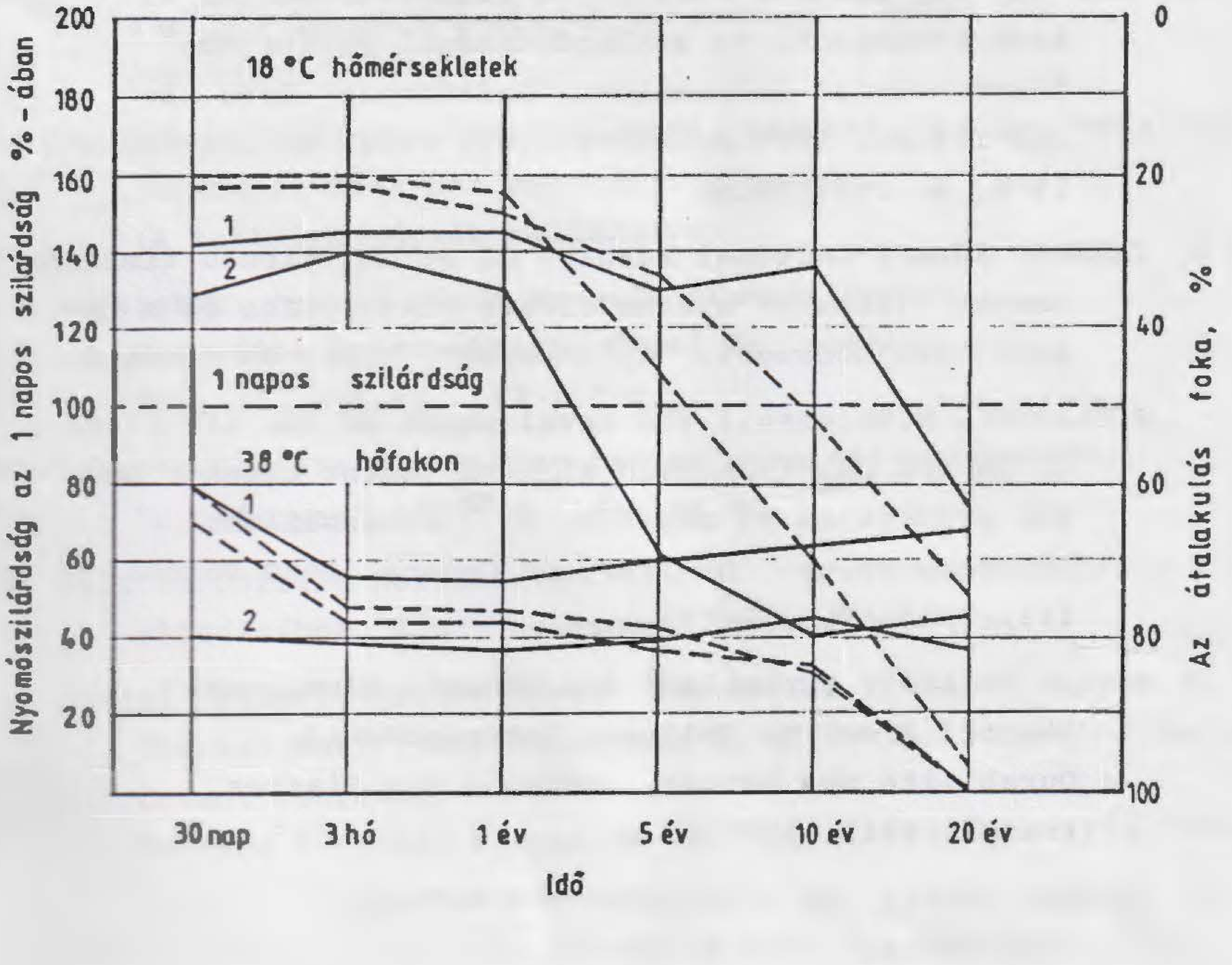
A 6.görbe 0,5 v/c tényezőjű beton, 300 $kg/m^3$ cement-adagolás mellett.

A 7.görbe 0,5 v/c tényezővel készült beton, 250 $kg/m^3$ cementadagolással.

A 10.ábra alapján az eddig elmondottak több tétele bizonyítható. Így:

- a portlandcement-beton szilárdsága folyamatosan, 20 év után is növekszik;
- az aluminátcement-betonok szilárdsága, a rendkívüli esetektől (pl.$CO_2$ kezelés, alkáliák hatása, stb.) eltekintve igen hosszú időn át sem szűnik meg, sőt bizonyos mértékig stabilizálódik;
- jól megfigyelhető: a karbanátosodás hatása,
  a v/c tényező szerepe,
  a felhasznált cementmennyiség szerepe.

A hőmérséklet és a v/c tényező, valamint az átalakulás foka összefüggéseit pedig a 11.ábrán mutatom be.




11.ábra

Az aluminátcement-betonok szilárdságának összefüggése a hőmérséklettel, a v/c tényezővel és az átalakulás fokával.

Az 1.jelű görbék v/c tényezője 0,30-0,40

A 2.jelű görbék v/c tényezője 0,50-0,60

Ebből is jól látható a v/c tényező és a hőmérséklet szerepe és hatása. A 10. és 11. ábrákról levonható tanúságok gyakorlatilag azonosak.

## Az összefoglalóban hivatkozott publikációim jegyzéke.


1a, 1b, 1c, 1d) Talabér József: Az aluminátcementek és azok kötéseinél és szilárdulásánál lejátszódó fiziko-kémiai folyamatok. "Építőanyag" 1956. 5. 161-174.o., 1956.6. 202-213.o., 1956. 8. 295-308.o., 1956. 9. 349-356.o.

2) Talabér József-Dolezsai Károly: CA és $CA_2$ típusú timföld-cement klinkerek szerkezetének kialakulása és a cement tulajdonságai. "Építőanyag", 1981. 2. 41-46.o.

J.Talabér, K.Dolezsai: The development of the strukture of CA and $CA_2$ type high alumina cement clinker and the properties of cements. 7 th International Congress on the Chemistry of Cement. 1980 Volume III. Tehme V. 191-196.o.

3) Joseph Talabér: Durabilité des Ciments Alumineux. Rapport final du Colloque International: Durabilité des betons, Academie des Siences, Praque, 1962. 109-114.o.

4) Talabér józsef: Az aluminátcement-betonok. "Építőanyag" 1962.3. 90-101.o.

5) Talabér József: Még mindig nem az utolsó szó az aluminát-cementekről. "Építőanyag" 1975. 4. 123-127.o.

6) J.Talabér: High alumina cements (principal Paper) Moszkva. Megjelent a Strojizdat kiadásában oroszul. 1976. III. 124-133.o.

7a) Talabér,J.: Langfristige Kritersuchungen an Aluminat-zement. 2. Internationale Baustoff und Silikattagung. 1966. Weimar, Sektion 3. 227-247.o.

7b) Talabér József: Hosszú időre kiterjesztett vizsgálatok az aluminátcementekkel. "Építőanyag" 1967. 1. 1-8.o.

8) T.V.Kunetzova, J.Talabér: Glinozemisztij cement. Moszkva, Sztrojindat, 1988. (Címlap mellékelve)

9) Talabér József: Aluminátcementről mai szemmel.
"ÉpítésÜgyi Szemle" 1990. 37-43.o.

10) Talabér József: Az aluminátcement. A BME Építőanyagok
Tanszék 36.sz.Tudományos Közlemények. 1988.
138-147.o.

11) Talabér József: Az aluminátcement. Kézirat, a Glinozemisztíj
cement c. 1988-ban megjelent könyvhöz.
(A tartalomjegyzék mellékelve)

12) J.Talabér: Actual views on high Alumina Cement.
Periodica Polytechnica, Civil Engineering
Vol. 17. 3-4.sz. 113-119.o.

13) Talabér József: Még néhány szó az aluminátcementekről.
"Építőanyag" 1973. 4. 142-145.o.

14) Talabér József: Hozzászólás H. Lafuma professzor (Francia O.)
előadásához. 1968. november. Kézirat 1-10. o.

15) József Talabér, Miklós Révay and Zsófia E.Wagner:
Thermal Analytical Measurements of Hungarian High-Alumina
Cement Conretes.
Secound European Symposium on Thermal Analisis. 198. 498-500.